

Рис. 2. Снижение неусредненности объемной доли контрольного компонента в емкостях с дополнительным механическим перемешиванием

Список литературы

1. Скачек М. А. Обращение с отработавшим ядерным топливом и радиоактивными отходами АЭС : учебное пособие для вузов / М. : ИД МЭИ, 2007. 448 с.
2. Manninen M., Taivassalo V. On the Mixture Model for Multiphase Flow / Espoo : Technical Research Center of Finland, VTT Publications, 1996. 67 p.
3. Авраменко М. И. О к-ε модели турбулентности / 2-е изд., перераб. и дополн. Снежинск : изд-во РФЯЦ-ВНИИТФ, 2010. 102 с.
4. Морданов С. В., Хомяков А. П., Никулин В. А. Экспериментальная проверка адекватности численной модели струйного перемешивания // IV информационная школа молодого ученого : сб. научных трудов. Екатеринбург : УрО РАН, 2014. С. 242–252.

УДК 621.694.2

Мурманский И. Б., Аронсон К. Э.
Уральский федеральный университет
ilyam@gmail.ru

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИЙ МНОГОСТУПЕНЧАТЫХ ПАРОСТРУЙНЫХ ЭЖЕКТОРОВ ДЛЯ НОВЫХ ТУРБИН ПГУ

В последние годы развитие энергетической отрасли становится приоритетным направлением в России. Это связано с увеличением генерирующих тепловых и электрических мощностей, а также с необходимостью замены устаревшего оборудования электрических станций. Одновременно с ремонтом и заменой оборудования на существующих электростанциях происходит строительство новых электрических станций и ввод в эксплуатацию новых мощностей.

При проектировании новых паровых турбин перед заводами-изготовителями встает ряд вопросов по разработке нового вспомогательного оборудования. В частности, для паровых турбин мощностью до 80 МВт Уральского турбинного завода в составе ПГУ необходимы воздушные насосы (эжекторы), обеспечивающие функционирование конденсационных установок паровых турбин с минимальными затратами на собственные нужды. Существующие

эжекторы спроектированы для конденсаторов турбин мощностью более 100 МВт и характеризуются повышенными расходами рабочего пара на эжектор, высокой металлоемкостью и стоимостью [1].

Несмотря на внешнюю простоту устройства пароструйного эжектора, происходящие в нем термогазодинамические процессы сложны и не поддаются полному теоретическому описанию. В большом количестве как зарубежных, так и отечественных экспериментальных и теоретических работ [2-14], посвященных исследованию особенностей процессов в эжекторах, представлены различные методы расчета и конструирования пароструйных эжекторов. Однако надежные инженерные методики расчета этих устройств не доступны.

На рис. 1 показана схема работы струйного насоса. Рабочее тело (пар или вода) под давлением подается в приемную камеру 1, откуда через суживающееся сопло (или несколько сопел) с большой скоростью направляется в приемную камеру 2, соединенную с паровым пространством конденсатора патрубками отсоса паровоздушной смеси. Струя рабочего тела, благодаря понижению давления за соплом, увлекает за собой паровоздушную смесь из приёмной камеры в камеру смешения, состоящую из суживающейся (конфузорной) 3 и цилиндрической 4 частей канала, а также диффузора 5, в котором происходит преобразование кинетической энергии потока в потенциальную и повышение его давления [1].

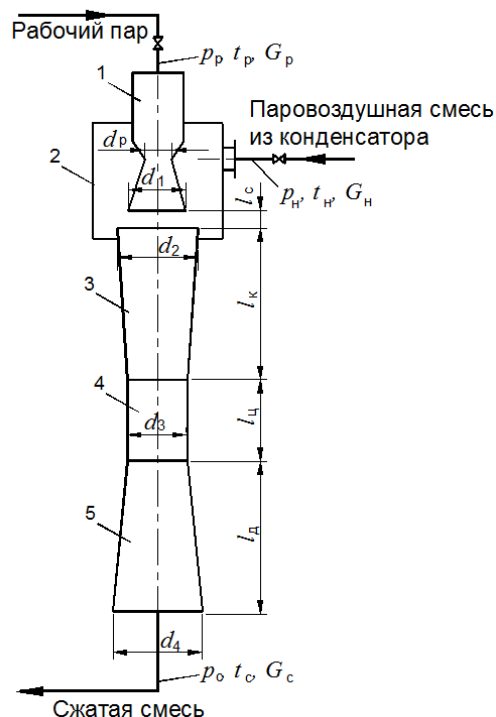


Рис. 1. Принципиальная схема эжектора

Характеристика пароструйного эжектора представляет собой зависимость давления всасывания p_n перед ступенью эжектора от расхода сухого воздуха $D_{\text{возд}}$.

На эффективность работы эжектора также существенное влияние оказывают параметры рабочего пара и эффективность работы промежуточных охладителей.

Для создания инженерной методики расчета эжекторов и разработки новых их конструкций был проведен анализ более 40 типоразмеров существующих эжекторов. Целью анализа являлось определение корреляционных связей основных геометрических характеристик эжектора с его производительностью. Установлено, что для 2 ступенчатых и 3 ступенчатых эжекторов разных заводов-изготовителей турбин такого рода связи отсутствуют. Это определяется различными подходами разработчиков оборудования к распределению степеней сжатия по ступеням эжектора.

При формулировке задания на проектирование эжектора принято, что пароструйный аппарат эжектора выполняется выносным.

На основании анализа методик расчета эжекторов выделено три группы методик: теоретические, полуэмпирические (учитывающие экспериментально полученные газодинамические характеристики) и эмпирические (основанные на экспериментальных данных). Обзор существующих методик расчета показал, что самой подходящей методикой является методика Московского энергетического института. Эта методика является одной из наиболее полных, результаты ее расчета совпадают с опытными данными.

В качестве основы для расчета приняты характеристики воздушных насосов и конденсационной установки турбины Уральского турбинного завода Т-63/76-8,8-УТЗ. Согласно данным о характеристиках турбины, работающей в схеме ПГУ-230, начальные параметры рабочего пара на эжектор следующие: $P_p = 0,49$ МПа; $T_p = 155$ °С. Расход основного конденсата, т. е. охлаждающей воды на эжектор от 50 до 120 т/ч в зависимости от режима работы турбины. Температура основного конденсата 40 °С.

При задании необходимого перечня исходных данных и выборе распределения степеней сжатия паровоздушной смеси по ступеням эжектора в результате расчетов определяются следующие геометрические характеристики пароструйного аппарата: диаметр критического сечения сопла – d_p ; выходной диаметр сопла – d_1 ; диаметр цилиндрической части камеры смешения – d_3 ; диаметр выходного сечения диффузора – d_4 .

Для проверки новой методики поверочного расчета, позволяющей получить рабочую характеристику будущего эжектора, проведены испытания эжекторов в условиях эксплуатации на Южной ТЭЦ-22 в г. Санкт-Петербург, Московской ТЭЦ-23 и на Казанской ТЭЦ-2. Проведено сопоставление полученных данных с результатами поверочного расчета данного эжектора по разработанной методике.

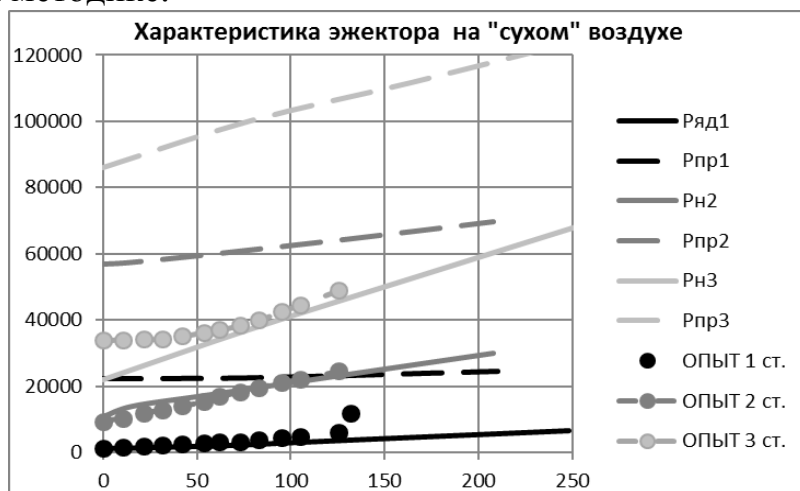


Рис. 2. Зависимость производительности эжектора от его основного параметра

Анализ и сравнение рабочих характеристик эжектора, полученных и рассчитанных согласно усовершенствованной методике, показывает, что они удовлетворительно согласуются, что позволяет использовать данную методику расчёта далее для разработки нового эжектора (рис. 2).

На основании конструкторского расчёта нового эжектора по заданным исходным данным получены геометрические размеры всех элементов пароструйного аппарата эжектора, а с использованием поверочной методики получена

рабочая характеристика будущего эжектора при температуре паровоздушной смеси $t_{см} = 17,5^\circ\text{C}$ (рис. 3).

Результаты проведенных исследований могут быть использованы для производства серии трехступенчатых эжекторов с выносными охладителями, максимальной производительностью 80 кг/ч, а также для расчета воздушных насосов с другими техническими характеристиками.

Исследования проводились в рамках выполнения НИОКР по Госзаданию «Повышение эффективности и надежности теплообменного оборудования энергопотребляющих и энергогенерирующих установок».

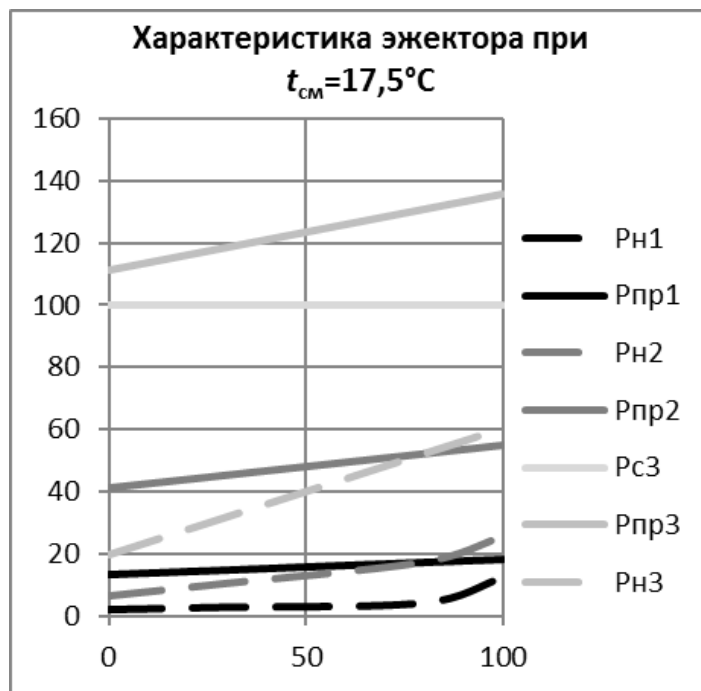


Рис. 3. Рабочая характеристика эжектора при $t_{см} = 17,5^\circ\text{C}$

Список литературы

1. Мурманский И. Б., Аронсон К. Э. Исследование характеристик и разработка конструкций многоступенчатых пароструйных эжекторов // Сборник трудов конкурса научных работ студентов федеральных университетов. Казань, 2014.
2. Блюдов В. П. Конденсационные устройства паровых турбин // М.–Л. : Госэнергоиздат, 1951. 207 с.
3. Берман Л. Д., Зингер Н. М. Воздушные насосы конденсационных установок паровых турбин / М.–Л. : Госэнергоиздат, 1962. 96 с.
4. Соколов Е. Я., Зингер Н. М. Струйные аппараты. М. : Энергоатомиздат, 1989. 352 с.
5. Робожев А. В. Методика расчета многоступенчатых пароструйных эжекторов : учебное пособие для вузов. М. : МЭИ, 1965. 76 с.
6. Дейч М. Е. Техническая газодинамика. М. : Энергия, 1974. 345 с.
7. Абрамович Г. Н. Прикладная газовая динамика. М. : Наука, 1991. 600 с.
8. Белевич А. И. Методические указания по расчету и проектированию пароструйных эжекторов конденсационных установок турбин ТЭС и АЭС / РД 34.30.105. М. : Минэнерго СССР, 1985. 53 с.
9. Шукин В. К., Колмогоров И. И. Газоструйные компрессоры. М. : Машгиз, 1963. 146 с.
10. Успенский В. А., Кузнецов Ю. М. Струйные вакуумные насосы. М. : Машиностроение, 1973. 144 с.
11. Цейтлин А. Б. Пароструйные вакуумные насосы. М.–Л. : Энергия, 1965. 400 с.
12. Шкловер Г. Г., Мильман О. О. Исследование и расчет конденсационных установок паровых турбин. М. : Энергоатомиздат, 1985. 240 с.
13. Расчет пароструйного эжектора ЭП-3-25/75. Черт. Б-800209. ЦКБ ХТЗ, 1960. 13 с.
14. Белевич А. И. РД 34.30.302-87 Методические указания по испытанию и эксплуатации пароструйных эжекторов конденсационных установок турбин ТЭС и АЭС. М. : Минэнерго СССР, 1990. 40 с.